EXPLOITATION OF THE CWSS IN THE ASPECT OF BELONGING TO THE CRITICAL INFRASTRUCTURE

EKSPLOATACJA SZZW W ASPEKCIE PRZYNALEŻNOŚCI DO INFRASTRUKTURY KRYTYCZNEJ

Barbara Tchórzewska-Cieślak, Katarzyna Pietrucha-Urbanik

Politechnika Rzeszowska

cbarbara@prz.edu.pl, kpiet@prz.edu.pl

Abstract: CWSS exploitation in terms of belonging to a critical infrastructure is an important issue and requires a detailed analysis. Therefore it is important to develop emergency plans for the supply of drinking water for different crisis situations, as well as detailed analysis of the risk of possible undesirable events in CWSS, in order to develop a comprehensive safety management program of the system. In this work the problems associated with the operation of CWSS in terms of belonging to critical infrastructure were presented. Also the methodology to determine the crisis management time in the WSS, connected with a shortage of drinking water was shown.

Keywords: collective water supply system, exploitation.

Streszczenie: Eksploatacja SZZW w aspekcie przynależności do infrastruktury krytycznej jest ważnym zagadnieniem i wymaga szczegółowej analizy. Dlatego tak istotne jest opracowanie planów awaryjnego zaopatrzenia w wodę do spożycia dla różnych sytuacjach kryzysowych, jak również szczegółowa analiza ryzyka możliwości wystąpienia zdarzeń niepożądanych w SZZW, w celu opracowania kompleksowego programu zarządzania bezpieczeństwem tego systemu. Omówiono problemy związane z eksploatacją SZZW w aspekcie przynależności do infrastruktury krytycznej. W pracy przedstawiono metodologię określania czasu zarządzania kryzysowego w SZZW związanego z deficytem ilości wody do spożycia.

Słowa kluczowe: system zbiorowego zaopatrzenia w wodę, eksploatacja.

1. Wstęp

System zbiorowego zaopatrzenia w wodę (SZZW) zgodnie z ustawą o zarządzaniu kryzysowym należy do infrastruktury krytycznej. Bezpieczeństwo SZZW ma swoje międzynarodowe regulacje prawne, których źródłem są przede wszystkim wytyczne Światowej Organizacji Zdrowia – WHO (ang. *World Health Organization*) [12]. Przepisy krajowe to ustawa o zbiorowym zaopatrzeniu w wodę i odprowadzaniu ścieków oraz rozporządzenie Ministra Zdrowia w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi.

Niezawodność dostawy wody polega na zapewnieniu stabilnych warunków, umożliwiających pokrycie bieżącego i perspektywicznego zapotrzebowania na wodę w odpowiedniej ilości i wymaganej jakości w dowolnym, dogodnym dla konsumentów wody czasie, a także w akceptowalnej przez nich cenie. Losowy charakter powstawania awarii sprawia, że prowadzenie badań w tym zakresie jest złożone i bazuje przede wszystkim na analizie danych eksploatacyjnych oraz opinii ekspertów [3,8]. Skutki awarii SZZW powodują okresowe przerwy w dostawie wody lub dostawę wody o nieodpowiedniej jakości [9].

Głównym celem pracy jest przedstawienie problemów związanych z eksploatacją SZZW w aspekcie przynależności do infrastruktury krytycznej.

2. Problemy eksploatacji SZZW

Zagrożenia dla całego SZZW klasyfikuje się na [11]:

- wewnętrzne (wynikające bezpośrednio z funkcjonowania SZZW, np. uszkodzenie jego elementów, awarie przewodów magistralnych czy rozdzielczych i armatury, awarie pompowni),
- zewnętrzne (np. zanieczyszczenia incydentalne źródła wody, działania sił natury, takie jak powódź, susza, opady, wichury, osuwiska, jak również brak zasilania energetycznego czy działania osób trzecich - wandalizm, atak terrorystyczny, a nawet cyberterrorystyczny).

Awariom można zapobiegać poprzez [1]: zapewnienie ochrony krytycznych elementów SZZW, zdalne monitorowanie SZZW, planowanie działań służb remontowych, opracowanie planu bezpieczeństwa wodnego opartego na analizie ryzyka wynikającego z możliwości zajścia zdarzeń niepożądanych. W tabeli 1 sklasyfikowano skutki zdarzeń awaryjnych występujących w SZZW oraz możliwe metody ich zapobiegania.

Metodologię określania czasu zarządzania kryzysowego w SZZW związanego z deficytem ilości wody do spożycia przedstawiono na rys.1

Tabela 1. Skutki oraz metody ograniczania skutków zdarzeń awaryjnych występujących w SZZW

Skutki awarii		Brak lub przerwa w dostawie wody			Skażenie	
		małe	średnie	duże	substancjami chemicznymi	substancjami mikrobiologicznymi
		przerwa o czasie trwania 1-2 h.	przerwa o czasie trwania 3-12 h.	przerwa o czasie trwania > 12 h.		
Strata	przedsiębiorstwa wodociągowe	– straty finansowe poniesione w wyniku usuwania awarii, płukania sieci, braku sprzedaży wody oraz wypłaty odszkodowań dla konsumentów wody				
	konsument indywidualny	– wpływ na zdrowie publiczne, – straty finansowe: konieczność zakupu wody butelkowanej, kosztami na leczenie, kosztami wynikającymi z utrudnień higieniczno-sanitarnych, – samorządowe oraz psychologiczne: wpływ na utrzymanie porządku przez państwo, wpływ na publiczne zaufanie do państwowych instytucji,				
	przemysł	– straty finansowe: powstałe w wyniku zaniechania produkcji, podczas której używana jest woda, konieczność ponownego rozruchu procesu produkcji,				
Działania zapobiegawcze		<ul style="list-style-type: none">– opracowanie planów reagowania w sytuacji kryzysowej, w tym możliwości zaopatrzenia ludności w wodę do spożycia z alternatywnych źródeł,– opracowanie alternatywnych technologii uzdatniania wody w kontekście możliwości pojawienia się zdarzeń incydentalnych,– opracowanie systemu informacyjnego oraz działań prewencyjnych,– bieżące kontrolowanie podsystemu poprzez wykonywanie systematycznych inspekcji, renowacji przewodów oraz modernizacji całego podsystemu,– zwiększenie marginesów rezerwowania (alternatywne źródła wody, pojemności awaryjne w sieciowych zbiornikach wodociągowych).

Rys. 1 Zestawienie stanów zaopatrzenia w wodę w sytuacji kryzysowej,
 gdzie: Q_w – wymagana wydajność wodociągu, Q_i – bieżąca wydajność wodociągu

3. Zasady zapewnienia funkcjonowania SZZW w sytuacjach kryzysowych

Wymagania techniczne i organizacyjne dotyczące projektowania i eksploatacji SZZW, podaje nieobowiązujące obecnie Zarządzenie Ministra Gospodarki Przestrzennej i Budownictwa w sprawie zasad zapewnienia funkcjonowania publicznych urządzeń zaopatrzenia w wodę w warunkach specjalnych, które może być wykorzystane przez przedsiębiorstwa wodociągowe do opracowania planów awaryjnych zaopatrzenia w wodę. Zgodnie z ww. wytycznymi w sytuacji kryzysowej przedsiębiorstwo wodociągowe powinno: zwiększyć dawkę środka dezynfekującego, włączyć do pracy alternatywne technologie uzdatniania wody dostawę wody z pominięciem Zakładu Uzdatniania Wody (np. dowóz wody cysternami i beczkowozami). Uzdatnianie wody, dostarczanej z ujęć rezerwowych w ilości niezbędnej powinno być zapewnione w układach technologicznych przystosowanych do usuwania skażeń wody w stacjach uzdatniania wody, przewoźnych stacjach uzdatniania wody i filtrach specjalnych. Minimalne ciśnienie wody w sieci wodociągowej powinno wynosić dla wodociągu komunalnego 0,1 MPa, dla wodociągu wiejskiego 0,06 MPa. W sytuacji unieruchomienia SZZW oraz na terenach nie objętych siecią wodociągową, zaopatrzenie w wodę zapewnia się ze studni awaryjnych.

Wyróżnia się dwa rodzaje zapotrzebowania na wodę w warunkach specjalnych:

- niezbędna ilość wody (czas trwania kilka tygodni): ludność $15 \text{ dm}^3/\text{os} \cdot \text{d}$, zakłady użyteczności publicznej w wysokości 50% normalnego zapotrzebowania, zakłady przemysłowe – zapewnienie funkcjonowania, cele własne wodociągu: 5÷15% produkcji dobowej, przeciwpożarowe – w zależności od potrzeb i specyfiki terenu, według ustaleń właściwej terenowo komendy straży pożarnej,
- minimalna ilość wody (czas trwania kilka dób): ludność $7,5 \text{ dm}^3/\text{os} \cdot \text{d}$.

4. Zarządzanie SZZW w ramach planów bezpieczeństwa wodnego

Dyrektywa Rady Unii Europejskiej 98/83/EC oraz wytyczne WHO zobowiązały kraje członkowskie UE do monitoringu jakości wody przeznaczonej do spożycia. W 2004 roku, w wytycznych [12] organizacja WHO przedstawiła założenia do opracowania tzw. Planu Bezpieczeństwa Wodnego (ang. Water Safety Plan - WSP), które są przeznaczone dla SZZW. Plan Bezpieczeństwa Wodnego jest kluczowym elementem strategii zapobiegania zdarzeniom niepożądanym we wszystkich podsystemach SZZW [7]. Zakres WSP obejmuje: charakterystykę podstawowego celu WSP, jakim jest zapewnienie bezpieczeństwa konsumentów wody, całościową ocenę SZZW – zawierającą odpowiedź na pytanie, czy system zaopatrzenia w wodę – od źródła wody, poprzez jej uzdatnienie, aż do spożycia – jest w stanie dostarczyć wodę spełniającą standardy zdrowotne zgodne z obowiązującym przepisami, plany zarządzania, monitoring walidujący dla każdego podsystemu SZZW prowadzony w celu potwierdzenia, że wdrażane procedury WSP pozwalają osiągnąć zaplanowane cele.

5. Ryzyko jako miara bezpieczeństwa systemów zbiorowego zaopatrzenia w wodę

Założenia

Proces analizy ryzyka na potrzeby bezpieczeństwa funkcjonowania SZZW przebiega w następujących fazach rozpoznawczych [4, 9]: określenie liczby mieszkańców korzystających z SZZW, wyznaczenie reprezentatywnych zdarzeń awaryjnych i określenie dla nich scenariuszy rozwoju w celu oszacowania strat, określenie prawdopodobieństwa (częstotliwości) występowania zdarzeń niepożądanych, określenie stopnia podatności na zdarzenia niepożądane konsumentów wody, przeprowadzenie analizy systemu zabezpieczeń w SZZW, w tym systemu monitoringu i zdalnego sterowania oraz tzw. barier ochronnych wchodzących w skład SZZW, np. alternatywnych ujęć wody czy systemów multibarier [6], oszacowanie możliwych strat, w tym prawdopodobieństwa przekroczenia określonej wartości strat granicznych $P(C > C_{gr})$, wyznaczenie kryterialnych wartości poziomów ryzyka wg przyjętej skali (trzystopniowej tj. ryzyko: tolerowane, kontrolowane, nieakceptowalne lub pięciostopniowej tj. zaniebdywane, tolerowane, kontrolowane, nietolerowane, nieakceptowane).

Ryzyko zdrowotne

Przy założeniu pojawienia się zdarzeń niepożądanych, zgodnie z rozkładem wykładniczym czasu pracy bezuszkodzeniowej, prawdopodobieństwo wystąpienia takiego zdarzenia (zawodności) U wyznacza się według wzoru [6, 10]:

$$U = 1 - e^{-\lambda t} \quad (1)$$

W zagadnieniach oceny ryzyka zdrowotnego w SZZW przyjmuje się, że $\lambda \cdot t \ll 1$, zatem [6]:

$$U \approx \lambda \cdot t \quad (2)$$

gdzie: U – wskaźnik zawodności,
 λ – wskaźnik intensywności uszkodzeń,
 t – czas eksploatacji przyjęty w analizie.

Wychodząc z podstawowej definicji ryzyka tj. $r = P \cdot C$, można założyć, że liczbowo straty zawierają się w przedziale $[0 \div 1]$. W epidemiologii wyróżnia się pojęcie ryzyka zdrowotnego bezwzględnego i względnego [2]. Ryzyko bezwzględne polega na określeniu liczby przypadków osób zarażonych (lub zgonów) zaobserwowanych N_O (ang. *observed*) i przewidywanych N_E (ang. *expected*) w określonej populacji ludzi. Ryzyko względne r_w wyznacza się według wzoru [6]:

$$r_w = \frac{N_O}{N_E} \quad (3)$$

gdzie: N_O – liczba przypadków zaobserwowanych,
 N_E – liczba przypadków przewidywanych.

Ryzyko odniesione do liczby osobolat PY (ang. *Person-Years*) przyjmuje postać:

$$r_b = \frac{N_O - N_E}{PY} \quad (4)$$

gdzie: r_b – ryzyko bezwzględne,
 PY – liczba osobolat.

Ryzyko braku dostawy wody

Czynnikami określającym ryzyko braku dostawy wody w SZZW może być niedobór produkcji wody w czasie uszkodzenia poszczególnych podsystemów produkcji wody. Zakłada się, że ryzyko bezwzględne braku dostawy wody w SZZW jest iloczynem prawdopodobieństwa niedoboru wody oraz strat z tym związanych. Zależność tę można wyznaczyć, wykorzystując tzw. wartość oczekiwaną niedoboru wody $E(\Delta Q)$ [9, 10]:

$$E(\Delta Q) = \sum_{i=0}^{i=n} \Delta Q_i \cdot P_i \quad (5)$$

gdzie: r_{bN} – ryzyko bezwzględne niedoboru wody dla w SZZW,
 $E(\Delta Q)$ – wartość oczekiwana niedoboru zasilania,
 i – numer stanu funkcjonowania w SZZW,
 n – maksymalna liczba możliwych stanów niezawodnościowych;
 $n = 2^m$ (m – liczba wszystkich źródeł zasilania w SZZW),
 ΔQ_i – niedobór zasilania w danym stanie zawodności,
 P_i – prawdopodobieństwo zajścia i -tego stanu funkcjonowania w SZZW.

Wielkość niedoboru zasilania ΔQ oblicza się jako różnicę wymaganej produkcji źródeł zasilania i produkcji źródeł w i -tym stanie według wzoru [10]:

$$\Delta Q = Q_n - \sum_{k_i} Q_{ik} \quad (6)$$

gdzie: Q_n – wymagane zapotrzebowanie na wodę, wymagana wydajność systemu w czasie pracy normalnej (najczęściej za wartość Q_n przyjmuje się maksymalne dobowe zapotrzebowanie na wodę $Q_{\max d}$ lub wartość projektową produkcji wody),

k_i – liczba uszkodzonych źródeł zasilania w i-tym stanie,

Q_{ik} – produkcja poszczególnych źródeł zasilania w i-tym stanie przy uszkodzeniach k_i .

Wartość prawdopodobieństwa P_i wyznacza się według wzoru [10]:

$$P_i = \prod_{j \in S} K_j \cdot \prod_{j \in N} (1 - K_j) \quad (7)$$

gdzie: K_j – wskaźnik gotowości j-tego podsystemu dostawy wody,

$j \in S$ – zbiór tych podsystemów dostawy (lub ich elementów), które w i-tym stanie są sprawne, oznaczone symbolem (+),

$j \in N$ – zbiór tych podsystemów dostawy (lub ich elementów), które w i-tym stanie są niesprawne, oznaczone symbolem (-).

W celu oceny ryzyka braku dostawy wody zdefiniowano ryzyko względne braku dostawy wody w SZZW, odnosząc wartość oczekiwaną niedoboru wody (ryzyko bezwzględne) do wartości nominalnej dostawy wody, co umożliwia również określenie wartości kryterialnych:

$$r_{wN} = \frac{r_{bN}}{Q_n} \cdot 100\% \quad (8)$$

gdzie: r_{wN} – względne ryzyko braku dostawy wody w SZZW [%],

Q_n – nominalna wartość zapotrzebowania na wodę (ilość wody dostarczanej w SZZW [m^3/d]).

Jeżeli suma wydajności wszystkich źródeł jest większa od wydajności wymaganej, to występuje tzw. rezerwa zasilania (niedobór jest równy zero). Propozycje kryteriów dla oceny ryzyka podano w pracach [6,10].

6. Podsumowanie

Eksploracja SZZW w aspekcie przynależności do infrastruktury krytycznej jest ważnym zagadnieniem i wymaga szczegółowej analizy. W sytuacji zaistnienia różnych sytuacji kryzysowych np. powodzi suszy, trzęsień ziemi, awarii, katastrofy technicznej, itp. zawsze istnieje problem zaopatrzenia ludności w wodę zdatną do spożycia. Niejednokrotnie brak takiego zaopatrzenia może być powodem groźnych chorób a nawet epidemii. Również sam SZZW może spowodować sytuację kryzysową w przypadku zaistnienia różnych scenariuszy zdarzeń niepożądanych, które mogą spowodować zawadność jego funkcjonowania, a w konsekwencji utratę bezpieczeństwa konsumentów wody. Dlatego tak istotne jest opracowanie planów awaryjnego zaopatrzenia w wodę do spożycia dla różnych sytuacjach kryzysowych, jak również szczegółowa analiza ryzyka możliwości wystąpienia zdarzeń niepożądanych w SZZW, w celu opracowania kompleksowego programu zarządzania bezpieczeństwem tego systemu.

Praca naukowa finansowana ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w ramach projektu rozwojowego Nr N R14 0006 10 nt. „Opracowanie kompleksowej metody oceny niezawodności i bezpieczeństwa dostawy wody do odbiorców” w latach 2010-2013.

7. Bibliografia

- [1] Hipel K.W., Kilgour D.M., Zhao N.Z.: Risk analysis of the Walkerton drinking water crisis. *Canadian Water Resources Journal*, 3, 2003, s. 395-397.
- [2] Hrudehy S.E., Hrudehy E.J.: Safe drinking water. Lessons from recent outbreaks in affluent nations. IWA Publishing, New York 2004.
- [3] Konieczny J.: Zarządzanie w sytuacjach kryzysowych, wypadkach i katastrofach. Oficyna Wydawnicza GARMOND, Poznań–Warszawa 2001.
- [4] Michaud D., Apostolakis G.E.: Methodology for ranking elements of water-supply networks. *Journal of Infrastructure Systems*, 12(4), 2006, s. 230-242.
- [5] Rak J., Tchórzewska-Cieślak B.: Review of matrix methods for risk assessment in water supply system. *Journal of Konbin*, 1(1), 2006, s. 67-76.
- [6] Rak J.: Dopuszczalne ryzyko zdrowotne związane z konsumpcją wody wodociągowej. *Sigma-NOT, GWiTS*, 3, 2009, s. 12-15.
- [7] Ramowa Dyrektywa Wodna 2000/60/WE.
- [8] Smalko Z.: Charakterystyki spolegliwości układu człowiek-maszyna-otoczenie. Materiały Szkoły Niezawodności PAN, 2007, s. 432-439.
- [9] Tchórzewska-Cieślak B.: Funkcjonowanie systemu zaopatrzenia w wodę z uwzględnieniem analizy niezawodności dostawy wody do spożycia. Instytut Technologii i Eksploatacji w Radomiu Materiały Szkoły Niezawodności PAN, t.XXVI, s.334-345, 2008.
- [10] Tchórzewska-Cieślak B.: Metody analizy i oceny ryzyka awarii podsystemu dystrybucji wody. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej. Rzeszów 2011.
- [11] Tchórzewska-Cieślak B.: Zarządzanie ryzykiem w ramach planów bezpieczeństwa wody. *Ochrona Środowiska*, Wydawn. PZiTS O/Dolnośląski, 4, 2009, s. 57-60.
- [12] WHO (2002). Water Safety Plans (Revised Draft).

Dr hab. inż. Barbara Tchórzewska-Cieślak, prof. PRZ pracuje na stanowisku profesora nadzwyczajnego w Politechnice Rzeszowskiej w Katedrze Zaopatrzenia w Wodę i Odprowadzania Ścieków. Zainteresowania naukowe: eksploatacja systemów zbiorowego zaopatrzenia w wodę, niezawodność i bezpieczeństwo systemów inżynierskich, niekonwencjonalne metody analizy i oceny ryzyka.

Katarzyna Pietrucha-Urbanik, pracuje w Politechnice Rzeszowskiej w Katedrze Zaopatrzenia w Wodę i Odprowadzania Ścieków. Zainteresowania naukowe: niezawodność i bezpieczeństwo systemów komunalnych, ryzyko związane z eksploatacją systemów zbiorowego zaopatrzenia w wodę.